

EVALUASI ENGINEERING BAHAN PERKERASAN JALAN MENGGUNAKAN RAP DAN FOAMED BITUMEN

Sri Sunarjono

Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I – Pabelan Kartasura Telp.0271-717417 Ext.415 Surakarta 57102

E-mail: ssunarjono@gmail.com

ABSTRAK

Permintaan penggunaan material RAP (reclaimed asphalt pavement) yang distabilisasi dengan foamed bitumen (FB) dengan pengolahan secara dingin (cold-mix) semakin tinggi seiring dengan perkembangan isu lingkungan dalam industri perkerasan jalan. Namun demikian, sesungguhnya kinerja engineering material cold-mix ini belum memuaskan terutama bila dibandingkan dengan material hot-mix. Paper ini menyuguhkan evaluasi kritis mengenai kinerja engineering material RAP- FB berdasarkan laporan-laporan proyek di lapangan dan hasil-hasil penyelidikan di laboratorium. Hasil evaluasi ini ditujukan untuk memberi masukan dan pedoman kepada pihak pengguna dalam menerapkan teknologi FB. Material RAP- FB menunjukkan kinerja engineering yang baik bila didisain secara tepat. Aspek yang harus diperhatikan adalah gradasi agregat dan distribusi binder. Namun bila kedua aspek ini tidak diperhatikan, kinerja engineering campuran FB bisa menjadi sangat buruk. Penggunaan material RAP- FB juga menunjukkan kinerja lingkungan yang sangat positif. Teknologi ini mengurangi eksploitasi sumber alam, penggunaan energi bahan bakar, emisi gas rumah kaca dan limbah industri.

Kata-kata kunci: foamed bitumen; engineering; perkerasan jalan; reclaimed asphalt pavement

PENDAHULUAN

Bahan perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat (aspal atau semen). Bila menggunakan bahan pengikat aspal disebut jenis campuran fleksibel dan bila menggunakan semen disebut jenis campuran kaku. Bahan perkerasan jalan didisain untuk mencapai properties tertentu sesuai spesifikasi yang disyaratkan. Masing-masing lapis perkerasan (lapis wearing course, binder course atau base course) mempunyai spesifikasi khusus sesuai karakter fungsional dan strukturalnya berbeda. Campuran jenis fleksibel dapat dibuat dengan 3 (tiga) cara yaitu pencampuran panas (hot-mix asphalt, HMA), pencampuran hangat (warm-mix asphalt, WMA) dan pencampuran dingin (cold-mix asphalt, CMA). Pada saat proses pencampuran, agregat dipanaskan hingga 140°C-200°C (untuk HMA), atau dipanaskan hingga 75°C-100°C (untuk WMA) dan tanpa pemansan (CMA). Secara umum, karakter HMA adalah unggul properties engineeringnya namun tidak ramah lingkungan, sedangkan CMA dikenal sangat ramah lingkungan namun properties engineeringnya rentan dengan prosedur pencampurannya. WMA adalah material yang diharapkan mempunyai properties kompromi antara HMA dan CMA.

Campuran aspal yang menggunakan foamed bitumen (FB) dikategorikan sebagai CMA atau WMA. Cara membuat campuran ini adalah dengan menyemprotkan foamed bitumen ke permukaan

agregat pada suhu ruang di dalam *mixer bowl* (di laboratorium) atau menggunakan *mixer plant* (di lapangan). Sebelum proses penyemprotan, agregat dibasahi dengan air hingga mendekati kadar optimumnya (optimum moisture content, OMC) agar mencapai kepadatan maksimum pada proses pemadatan. Foamed bitumen adalah semacam busa aspal yang dapat dibuat dengan cara menginjeksikan sedikit air (0.5%- 5% dari berat aspal) ke dalam aspal panas (140°C-200°C) di dalam expansion chamber. Pada saat air disemprotkan ke dalam fase aspal panas, air menguap dengan cepat menjadi steam panas yang diselimuti oleh film aspal sehingga terbentuklah gelembung-gelembung aspal yang bersifat eksplosif, maka terbentuklah foamed bitumen (FB) dengan volume yang besar (dapat mencapai 30 kali volume aspal semula) dan densitas sangat rendah. Volume FB ini sangat cepat berkembang namun dalam hitungan detik (10-30 detik) busa ini kembali menyusut cepat hingga volumenya tinggal 3-5 kali volume aspal semula, dan selanjutnya busa ini menyusut secara *asymptot* dan kembali mengeras. Pada saat busa mencapai volume maksimum inilah waktu yang tepat FB disemprotkan dan dicampur dengan agregat. Bila suhu agregat sekitar 20°C, maka FB hanya terdistribusi pada partikel halus ukuran maksimum 6mm (Sunarjono, 2008a). Bila suhu agregat dinaikkan hingga mendekati 100°C maka distribusi FB akan semakin baik yang ditandai dengan meningkatnya *vane shear cohesion* pada suhu

50°C dari 10 kPa menjadi 35 kPa (Jenkins et al, 1999). Secara fisik, CMA menggunakan FB (CMA-FB) berbeda dengan HMA. Warna HMA kehitaman karena seluruh partikel agregat terselimuti aspal, sedangkan campuran FB hanya berwarna kecoklatan. Untuk HMA, setelah proses pencampuran, material harus segera dipadatkan dan final properties tercapai saat proses pemadatan selesai. Untuk CMA-FB, setelah proses pencampuran, material dapat disimpan hingga 3 bulan sebelum dipadatkan, dan final properties baru tercapai setelah melewati masa curing.

Penggunaan foamed bitumen (FB) untuk bahan perkerasan semakin populer seiring dengan perkembangan isu lingkungan dalam industri konstruksi jalan. **Pertama**, proses pencampuran secara dingin mendorong isu penghematan penggunaan bahan bakar. **Kedua**, CMA-FB tidak harus menggunakan *fresh aggregate* tetapi dapat memanfaatkan bahan limbah seperti *reclaimed asphalt pavement* (RAP). Hal ini mendorong isu pengurangan eksploitasi sumber alam, mengatasi problem limbah dan menjaga keseimbangan alam. **Ketiga**, penggunaan CMA-FB di lapangan dengan metode *in-situ recycling* (daur ulang di tempat) dapat menambah efektifitas kerja sehingga mendorong penghematan energi dan transportasi serta mereduksi dampak polusi atau emisi gas rumah kaca.

Artikel ini ditujukan untuk melakukan evaluasi terhadap campuran foamed bitumen baik berdasarkan aspek engineering. Dalam hal ini agregat yang digunakan adalah RAP yaitu material hasil daur ulang bahan perkerasan jalan yang sudah rusak. Hasil evaluasi diharapkan dapat menyumbangkan sebuah pemikiran untuk pertimbangan dalam penggunaan material foamed bitumen di lapangan.

Campuran RAP – Foamed Bitumen

Prosedur rekayasa pencampuran

Properties campuran foamed bitumen- apapun agregat yang digunakan- sangat rentan terhadap proses pencampuran. Dalam hal ini ada beberapa aspek yang harus diperhatikan, yaitu: (1) Gradasi dan ukuran partikel maksimum, (2) Penambahan air agregat (wetting), (3) Properties foamed bitumen (termasuk jenis aspal), dan (4) *Mixer speed*. Beberapa metode prosedur rekayasa pencampuran adalah CSIR method (Muthen, 1999), prosedur Lee and Kim (2003), Wirtgen method (2005) dan Sunarjo (2008b).

Gradasi agregat dipersiapkan mengikuti *envelope* Akeroyd and Hicks (1988). Kebutuhan minimum filler adalah 5%. Gradasi agregat yang sesuai untuk campuran FB cenderung *dense graded* karena *strength* campuran sangat tergantung pada komposisi agregat. Hal ini sebagai konsekuensi logis

bahwa dalam campuran FB tidak semua agregat diikat oleh binder. Ukuran maksimum partikel juga harus diperhatikan karena FB cenderung terdistribusi pada agregat halus. Sunarjo (2008a) telah melakukan penyelidikan intensif mengenai distribusi binder dalam campuran FB dengan menggunakan *fresh aggregate* jenis limestone. Diketahui bahwa total permukaan agregat yang diselimi oleh aspal hanya sekitar 55%. Ukuran maksimum agregat yang dapat diselimi oleh binder adalah ukuran 6.3mm. Yang menarik adalah ternyata tidak semua filler diselimi oleh binder, kurang lebih ada sepertiga bagian yang diketahui *uncoated*. Namun demikian, agregat dengan ukuran partikel 0.3mm kebawah bagian yang *coated* masih lebih dominant daripada yang *uncoated*. Berdasarkan hasil penyelidikan ini maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan agregat halus (<0.3mm) sangat penting, direkomendasikan *filler content*nya minimum 10%. Bila menggunakan agregat bergradasi kasar dengan ukuran maksimum diatas 25mm maka distribusi binder akan semakin tidak merata. Campuran foamed bitumen akan sangat ideal bila menggunakan agregat dengan ukuran maksimum 10mm, hanya saja stiffness campuran ini menjadi rendah.

Penambahan air agregat merupakan aspek yang dilematis. Air agregat sangat diperlukan untuk menjadi media distribusi binder saat proses pencampuran dan menjadi komponen pelumas pada saat proses pemadatan. Oleh karenanya Wirtgen (2005) merekomendasikan menambah air sebanyak OCC (optimum compaction and workability content) yaitu nilai kadar air yang diprediksi dapat menghasilkan distribusi binder dan kepadatan campuran terbaik. Perlu diketahui bahwa banyaknya air agregat menyebabkan viskositas foamed bitumen meningkat sehingga mengurangi *workability*nya saat proses pencampuran. Selain itu, keberadaan air agregat pasca pemadatan sangat tidak dikehendaki karena berpotensi mereduksi *strength* campuran pada awal umurnya. Adanya konflik kepentingan dalam penambahan air agregat inilah yang mengharuskan rekayasa pencampuran dilakukan secara hati-hati. Biasanya, campuran foamed bitumen ditambah bahan semen untuk mempercepat masa curing dan meningkatkan *strength* campuran pada awal umur untuk mengurangi potensi kerusakan bila perkerasan langsung *open traffic* setelah pemadatan selesai. Penambahan 1.5% Portland cement secara signifikan dapat meningkatkan modulus dan mereduksi besaran rutting pada awal umur (Jetarekul et al, 2007).

Kualitas foamed bitumen (FB) pada umumnya dievaluasi berdasarkan nilai maximum expansion ratio (ERm) dan half life (HL). ERm adalah perbandingan volume foam saat maksimum dan volume aspal awal, sedangkan HL adalah waktu yang

dihitung saat foam mencapai volume maksimum hingga volume tinggal setengahnya. Pada awalnya diyakini bahwa kedua parameter ini yang akan menentukan kualitas campuran, sehingga muncul beberapa spesifikasi diantaranya CSIR (Muthen, 1999), TRL Report 386 (Milton and Earland, 1999) dan Wirtgen (2005). Rekomendasi nilai minimum ERM adalah pada kisaran 8-10 dan HL pada kisaran 6-12 detik. Jenkins (2000) menyederhanakan 2 parameter tersebut menjadi satu parameter yang disebut *Foam Index* (FI). Sedangkan Saleh (2006) berpendapat bahwa viskositas FB saat proses pencampuran merupakan faktor utama yang mempengaruhi properties campuran. Kemudian Sunarjono (2008a) mengusulkan spesifikasi rinci untuk menghasilkan kinerja campuran yang optimum. Spesifikasi ini menggunakan parameter ERM, suhu aspal saat proses *foaming*, FWC (*foaming water content*) yaitu banyaknya air yang digunakan untuk menginjeksi aspal panas pada saat proses *foaming* dan *mixer speed*. Spesifikasi dibuat untuk penggunaan 3 jenis aspal pen dan iklim wilayah dimana campuran akan dihampar.

Mixer speed berperan pada kualitas distribusi binder pada campuran saat proses pencampuran. Bila mixer speed rendah akan berdampak pada distribusi binder yang tidak merata dan hal ini akan mengurangi nilai modulus campuran. Long et al (2004) merekomendasikan menggunakan jenis *high-speed twin shaft pugmill mixer* agar dihasilkan campuran yang homogen dan mendekati kualitas pencampuran di lapangan.

Pelaksanaan konstruksi recycling

Karena kemampuan foamed bitumen (FB) dapat mengikat RAP (agregat daur ulang) dengan sistem pencampuran dingin (*cold-mix*), maka jenis binder ini lebih sering digunakan untuk pekerjaan *cold recycling*. Teknologi cold recycling dapat dikerjakan dengan 2 (dua) cara yaitu metode '*in-plant (ex-situ)*' dan '*in-place (in-situ)*'. Dalam kedua metode ini, agregat RAP tidak perlu dipanaskan sebelum dicampur dengan FB. Dalam metode *in-plant*, raw material yang dipakai (RAP, aspal dan filler aktif), kualitas pencampuran dan material campuran yang dihasilkan dapat dikontrol secara ketat. Material yang dihasilkan juga dapat disimpan beberapa lama untuk penggunaan selanjutnya. Sedangkan metode *in-situ* menghasilkan pekerjaan yang lebih cepat, efektif dan murah walaupun kualitas produknya berpotensi relatif sedikit lebih rendah daripada metode *in-plant*.

Pada metode *in-plant*, komponen alat terdiri atas beberapa *hopper* untuk agregat yang dilengkapi dengan *conveyor belt*. Agregat dari *hopper* disuplai melalui *conveyor belt* menuju *mixer pugmill*.

Beberapa spray bar dipasang sepanjang *conveyor belt* untuk penambahan air (proses *wetting*). Foamed bitumen disemprotkan begitu agregat jatuh dari conveyor belt menuju mixer pugmill. Penyemprotan diatur agar distribusi foam dapat merata dalam campuran. Material campuran yang dihasilkan (di UK disebut Foamix) kemudian dipindahkan dengan menggunakan *conveyor belt* ke truk pengangkut atau ke tempat *stockpile*. Secara fisik material Foamix seperti partikel basah (tidak berwarna hitam seperti hot-mix) yang terdiri atas *coated fine aggregate* dan *partly coated coarse aggregate*. *Coated fine aggregate* berupa seperti pasir basah yang tidak lekat di telapak tangan dan bila material ini diremas dengan jari tangan maka komponen aspal akan tampak menyembul keluar.

Pada proses in-situ, di UK juga disebut Foamstab, lapis perkerasan jalan yang telah rusak digali dan diaduk sampai pada kedalaman tertentu (100mm s.d 300mm) dengan menggunakan *heavy duty rotovator*. Proses Foamstab dapat dilakukan untuk mendaur ulang lapisan aspal permukaan, granular base dan atau lapisan sub-base. Material yang telah didaur ulang kemudian disemprot air untuk proses *wetting* yang diikuti dengan penyemprotan foamed bitumen di dalam *mixing chamber* mesin recycling. Aspal disuplai secara kontinyu dari truk tangki ke rotovator yang berjalan berturutan. Secara fisik material campuran yang dihasilkan tidak berbeda dengan Foamix. Material yang telah dicampur kemudian diratakan dan dipadatkan sehingga terbentuk semacam perkerasan baru. Proses recycling dapat dikerjakan dalam satu kali operasi lintasan. Bila dikehendaki adanya penambahan filler semen atau kapur, filler ini dapat ditebarkan diatas permukaan perkerasan yang akan direcycling sebelum pekerjaan dimulai, kemudian material filler akan menjadi satu kesatuan material yang digali dan diaduk sehingga menjadi campuran yang homogen sebelum ditambah air dan foamed bitumen.

Bahan dan Metode Kajian

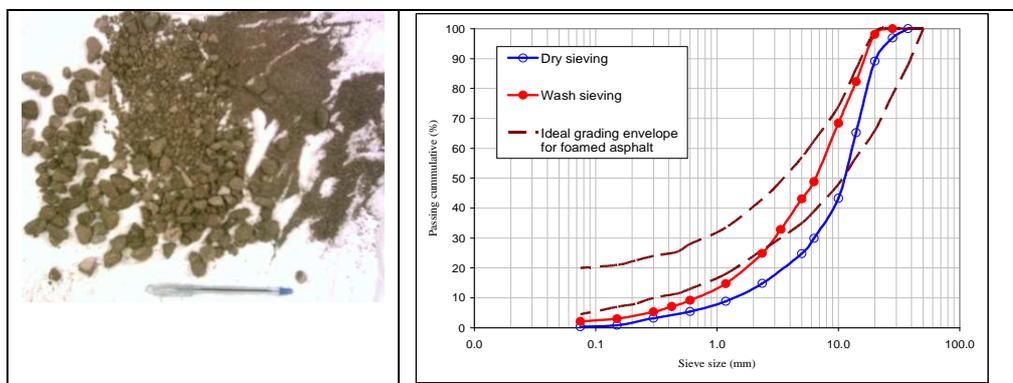
Dalam artikel ini akan dikaji material campuran antara RAP dan foamed bitumen. Kajian akan didasarkan pada hasil pengujian di laboratorium yang dilakukan oleh penulis maupun oleh peneliti lain. Pada umumnya material diambil dari tempat stockpile dimana material RAP berpotensi mempunyai properties beragam karena dimungkinkan material berasal dari hasil galian beberapa ruas jalan. Ukuran partikel RAP juga sangat beragam. Untuk pengujian laboratorium yang menggunakan benda uji berdiameter 100mm, material RAP dipilih hanya yang berukuran dibawah 25mm yaitu ¼ diameter benda uji. Biasanya, material

RAP dibagi menjadi beberapa fraksi kasar, medium dan halus untuk mengurangi efek keberagaman material. Gradasi RAP lebih baik ditentukan berdasarkan wash sieving agar partikel halus terlepas dari partikel kasar. Kadar aspal RAP juga akan beragam tergantung dari jenis sumber materialnya. Pada umumnya, kandungan aspal RAP mempunyai penetrasi yang sangat rendah karena efek ageing. Gambar 1, Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 adalah contoh RAP dan propertiesnya yang pernah diselidiki oleh penulis (Sunarjono, 2008a).

Bahan foamed bitumen pada umumnya dibuat dari jenis aspal pen. 70/100 atau lebih lunak karena aspal lunak cenderung menghasilkan pembusaan yang lebih baik (walaupun stiffness campuran akan

cenderung lebih rendah). Saat proses pembusaan, aspal dipanaskan sekitar suhu 150°C-180°C tergantung dari hasil observasi. Sedangkan jumlah air yang diinjeksikan ke dalam aspal panas pada umumnya sekitar 2%-3% (dari berat aspal).

Dalam kajian ini, properties campuran berdasarkan hasil-hasil penyelidikan dianalisis untuk mengetahui karakteristik engineering material campuran foamed bitumen. Sedangkan kajian lingkungan didasarkan kepada perhitungan teoritik agar keuntungan penggunaan campuran foamed bitumen dapat dikalkulasi. Hasil dari kedua kajian ini akan disimpulkan untuk menjadi bahan pertimbangan dalam memutuskan penggunaan material campuran foamed bitumen.



Gambar 1. Kiri : Photo contoh material RAP ; Kanan : Gradasi contoh material RAP hasil dry dan wash sieving

Tabel 1. Particle density dan water absorption material RAP (BS 812-2:1995)

Properti	Ukuran partikel (mm)		
	< 5	5-10	10-20
Particle density (Mg/m ³)			
Oven dried	2.39	2.49	2.54
Saturated surface dry	2.45	2.52	2.56
Apparent	2.54	2.56	2.60
Water absorption (%)	2.55	1.01	0.93

Tabel 2. Properties recovered bitumen setelah tes fractionating column

Properti	Benda uji		
	1	2	3
Penetration (0.1 mm) (at 25°C, 5s, 100g)	21	25	32
Softening Point (°C) (Ring and Ball)	64.6	63.2	62.2
Viscosity (mPa.s) (Brookfield Viscometer)	at 120°C	2530	2920
	at 150°C	550	420
	at 180°C	-	110

Tabel 3. Komposisi material RAP

Komponen (% berat campuran)	Benda uji			Rata-rata
	1	2	3	
Recovered bitumen (%)	3.69	4.1	3.9	3.9
Filler (%)	10.67	9.74	8.95	9.8

Evaluasi Engineering Terhadap Campuran Foamed Bitumen

Workability pencampuran

Tiga faktor utama yang mempengaruhi workability pencampuran adalah faktor mixer, agregat dan foamed bitumen. Proses pencampuran dengan workability yang tinggi akan menyebabkan distribusi binder dalam campuran semakin merata; hal ini akan mempengaruhi kemudahan campuran untuk dipadatkan sehingga akan menghasilkan modulus campuran yang relatif tinggi. Material akan semakin mudah dicampur bila (1) mixer speed semakin tinggi, (2) gradasi agregat semakin halus, (3) air agregat (wetting) optimum, (4) menggunakan jenis aspal lunak (pen tinggi), (5) menggunakan FWC optimum, (6) pemanasan aspal saat pembusaan semakin tinggi, dan (7) FB mempunyai ERM optimum.

Compactability campuran

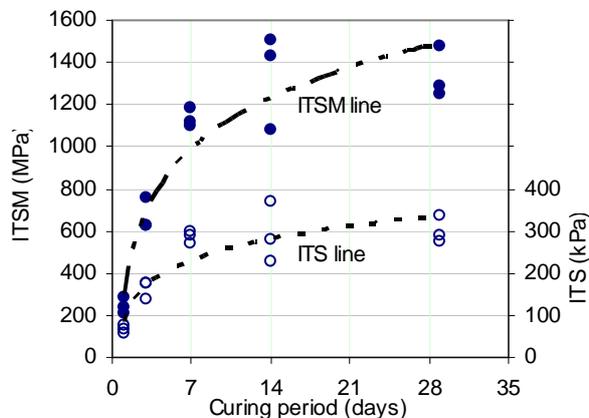
Sifat compactability campuran foamed bitumen sangat dipengaruhi oleh kualitas distribusi binder dalam campuran. Campuran yang kualitas distribusi bindernya bagus akan semakin mudah dipadatkan. Pengujian compactability dilakukan terhadap 3 jenis benda uji, yaitu benda uji dengan kualitas distribusi binder (1) rendah, menggunakan aspal pen 50/70, (2) menengah, menggunakan aspal pen 70/100, dan (3) bagus, menggunakan aspal pen 160/220. Ketiga jenis benda uji dipadatkan menggunakan Gyratory compactor dengan force 600 kPa, angle 1.25° dan sebanyak 200 gyration. Ternyata benda uji dengan kualitas distribusi binder yang rendah (aspal pen 50/70) mempunyai kepadatan terendah dan benda uji aspal pen 160/220 mempunyai kepadatan tertinggi. Data ini menunjukkan bahwa distribusi binder sangat mempengaruhi compactability campuran.

Stiffness modulus material

Material campuran foamed bitumen (FB) mempunyai sifat yang unik. Stiffness modulusnya tidak hanya dipengaruhi oleh nilai kepadatan dan stiffness aspalnya, namun juga oleh kualitas distribusi bindernya. Namun demikian, pengaruh distribusi binder hanya pada suhu campuran rendah (misal suhu 5°C). Pada suhu 20°C atau lebih tinggi, faktor yang berpengaruh terhadap nilai modulus adalah kepadatan dan stiffness aspal. Sehingga campuran FB akan mempunyai nilai modulus sebanding dengan HMA pada suhu diatas 20°C sepanjang aspal pen dan kepadatan campurannya juga sebanding. Namun bila campuran FB akan dipasang di wilayah iklim dingin, maka sebaiknya menggunakan aspal pen tinggi yang cenderung mempunyai kualitas distribusi yang baik.

Nilai stiffness campuran RAP-FB sangat dipengaruhi oleh prosentase RAP. Semakin tinggi proporsi RAP maka semakin rendah nilai stiffnessnya. Hal ini dikarenakan *internal friction* antar agregat RAP- dimana agregatnya diselimuti oleh aspal- lebih kecil daripada fresh agregat.

Gambar 2 menunjukkan hasil investigasi laboratorium (Sunarjono, 2007) terhadap *strength* benda uji dengan proporsi RAP 100%, FB content 2% dan aspal pen 70/100. Stiffness diuji menggunakan alat NAT (Nottingham Asphalt Tester) yaitu ITSM (Indirect Tensile Stiffness Modulus) dan strength campuran diuji menggunakan tes ITS (Indirect Tensile Strength). Seperti tampak pada gambar, nilai ITSM (rise time 124 ms, suhu 20°C) dan ITS (suhu 20°C) bertambah dengan lama masa curing (suhu ruang), dimana pada umur ± 28 hari properties final telah tercapai. Nilai ITS mencapai 350 kPa, dimana nilai ini diatas syarat minimum 200 kPa sebagaimana rekomendasi Bowering and Martin (1976). Sedangkan nilai ITSM mencapai 1500 Mpa (laboratorium) atau sekitar $1.7 \times 1500 \text{ MPa} = 2550 \text{ MPa}$ (lapangan) dimana nilai ini sesuai dengan rekomendasi Nunn and Thom (2002). Dengan demikian bila agregat RAP dikombinasikan dengan *fresh aggregate* maka nilai *strength*nya berpotensi lebih tinggi.



Gambar 2. Nilai Strength (ITS) dan stiffness (ITSM) campuran RAP-FB pada beberapa masa curing.

Ketahanan terhadap permanent deformation

Bahan perkerasan jalan yang mempunyai ketahanan tinggi terhadap permanent deformation diinterpretasikan juga akan tahan terhadap rutting di lapangan akibat pembebanan berulang kendaraan. Pengujian permanent deformation dapat dilakukan dengan menggunakan alat RLAT (Repeated Load Axial Test). Hasil evaluasi (Sunarjono, 2008a) terhadap benda uji menggunakan *fresh aggregate*

ukuran maksimum 10mm, aspal pen 70/100 sebanyak 6.8% dan diuji pada suhu 40°C dengan stress 100 kPa adalah bahwa sifat permanent deformation sangat berkaitan dengan proses pemadatan. Dua jenis benda uji dengan kepadatan yang sama namun dipadatkan dengan jumlah gyration yang berbeda (menggunakan Gyrotory compactor) maka benda uji yang dipadatkan dengan jumlah gyration yang lebih banyak menunjukkan lebih tahan terhadap permanent deformation.

He and Wong (2007) menemukan bahwa jenis RAP (berbeda ageingnya) dan proporsi RAP (0%, 20%, 40% dan 60%) tidak signifikan mempengaruhi ketahanan terhadap permanent deformation. Benda uji dipadatkan menggunakan Marshall Compactor dengan jumlah blow yang sama. Hal ini membenarkan bahwa efek energi pemadatan lebih signifikan terhadap ketahanan *permanent deformation* daripada efek agregat. Peneliti dari Hong Kong ini juga menemukan bahwa benda uji yang mengandung jenis aspal lunak (100 pen) mempunyai ketahanan terhadap permanent deformation yang lebih baik dari pada benda uji yang mengandung jenis aspal keras (60 pen). Bila dikaitkan dengan workability selama proses pencampuran, benda uji mengandung aspal pen 100 berpotensi mempunyai distribusi binder yang lebih baik dari pada benda uji mengandung aspal pen 60. Hal ini dapat dijadikan indikasi bahwa benda uji dengan distribusi binder yang lebih baik akan memiliki ketahanan terhadap permanent deformation yang lebih baik.

Sunarjono (2008c) melaporkan hasil yang agak berbeda dengan He and Wong (2007) dimana campuran RAP-FB dievaluasi dengan alat wheel tracking test dalam percobaan semi full-scale. Ditemukan bahwa (1) material menggunakan RAP 50% menghasilkan rutting lebih rendah daripada material menggunakan RAP 75%, (2) material menggunakan aspal pen 50/70 menghasilkan rutting lebih rendah daripada material menggunakan aspal pen 70/100, dan (3) penambahan 1.5% semen

meningkatkan ketahanan campuran terhadap rutting secara signifikan. Dalam penyelidikan ini menggunakan campuran yang mengandung aspal pen 50/70 dan pen 70/100 dengan proporsi RAP 50% dan 75% (dikombinasikan dengan *limestone fresh aggregate*). Pembebanan menggunakan single wheel dimulai setelah masa curing 14 hari dengan penerapan load stress bertahap yaitu 3kN (5000 lintasan pertama), 6kN (lintasan ke 5000 s/d 15000) dan 12 kN (lintasan ke 15000 s/d 45000).

Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi engineering maka disimpulkan bahwa material RAP dapat digunakan untuk bahan perkerasan jalan. Material RAP yang distabilisasi dengan foamed bitumen memenuhi persyaratan modulus minimum sebesar 1500 MPa (laboratorium) atau 2500 MPa (lapangan). Bila material RAP dikombinasikan dengan *fresh aggregate* maka nilai stiffness modulusnya akan lebih baik. Penggunaan RAP sampai dengan proporsi 60% diketahui tidak berpengaruh secara signifikan terhadap ketahanan *permanent deformation*nya (RLAT), namun ketika proporsi RAP 75% diketahui nilai ruttingnya lebih buruk daripada proporsi 50% (wheel tracking test). Penyebab utama nilai strength atau stiffnessnya lebih rendah bila dibandingkan dengan HMA karena partikel *uncoated*nya memberi kontribusi peningkatan nilai strain. Sedangkan penyebab penurunan nilai stiffness pada proporsi RAP yang tinggi karena keberadaan RAP mengurangi nilai *internal friction* antar partikel. Karakteristik kepadatan dan properties campuran padat sangat rentan dipengaruhi oleh proses pencampuran. Bila proses pencampuran menghasilkan distribusi binder yang tidak merata maka campuran foamed bitumen berpotensi mempunyai kepadatan rendah dan *performance* yang buruk. Untuk itu, penggunaan campuran foamed bitumen untuk bahan perkerasan jalan memerlukan spesifikasi dan pedoman teknis pelaksanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akeroyd, F.M.L. & Hicks, B. J.(1988),”*Foamed Bitumen Road Recycling*”, Highways, Volume 56, Number1933, pp 42, 43, 45.
- He, G. and Wong, W. (2007),”*Laboratory Study on Permanent Deformation of Foamed Asphalt Mix Incorporating Reclaimed Asphalt Pavement Materials*”, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 8, August 2007, Pp. 1809-1819, Elsevier.
- Jenkins, K. J., de Groot, J. L. A., Van de ven, M. F. C. and Molenaar, A. A. A. (1999), "*Half-Warm Foamed Bitumen Treatment, A New Process*", 7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa (CAPSA '99), Sun City, South Africa.

- Jenkins, K.J. (2000),” *Characterisation of Foamed Bitumen*”, Chapter 3, Mix Design Considerations for Cold and Half-warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen, PhD Dissertation, University of Stellenbosch, South Africa.
- Lee, H.D and Kim, Y.J. (2003),”*Developing of a Mix Design Process for Cold-In-Place Rehabilitation Using Foamed Asphalt*”, Final Report for TR-474 Phase I. Report on Research Sponsored by Iowa Department of Transportation, Public Policy Center, Civil and Environmental Engineering, The University of Iowa, Desember 2003.
- Muthen,K.M. (1999) ,”*Foamed Asphalt Mixes, Mix Design Procedure*”, Contract Report CR-98/077,June 1999. CSIR Transportek, South Africa.
- Saleh, M.F. (2006),”*Characteristisation of Foam Bitumen Quality and the Mechanical Properties of Foam Stabilised Mixed*”, 10th International Conference on Asphalt Pavements, Quebec, Canada.
- Sunarjono, S. (2007),”*Tensile Strength and stiffness modulus of foamed asphalt applied to a grading representative of Indonesian road recycled pavement materials*”, *Dinamika Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sunarjono, S. (2008a), "*The Influence of Foamed Bitumen Characteristics on Cold-Mix Asphalt Properties*", PhD Thesis, , Nottingham Transportation Engineering Centre, School of Civil Engineering, University of Nottingham, United Kingdom.
- Sunarjono, S. (2008b), “*Karakteristik Foamed Asphalt Sebagai Bahan Perkerasan Jalan*”, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2008, Perkembangan Teknologi Teknik Sipil Terkini, Sabtu 23 Agustus 2008, Gedung Pasca Sarjana UMS, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, pp. 14-20.
- Sunarjono, S. (2008c),”*Performance of Recycled Pavement Using Foamed Bitumen Under Wheel Tracking Test*”, Proceeding International Seminar Civil Engineering XI 2008, Post Graduates Building UPN Veteran East Java, Surabaya, July 8-9 2008, pp. M28.1-M28.7.
- Wirtgen. (2005),”*Foamed Bitumen Mix Design Procedure Using The Wirtgen WLB 10 # 147 236.0001*”.